

Краткие сообщения

УДК537.636: 577.3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРОДСКОГО ТЕХНОГЕННОГО МАГНИТНОГО ШУМА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЕКАТЕРИНБУРГА)

© 2018 Д.С. Тягунов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геофизики
им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, 620016; e-mail: tds-07@mail.ru*

На примере Екатеринбурга рассмотрено пространственное распределение городского техногенного магнитного шума в диапазоне частот 0.01–200 Гц и 0.01–45 Гц с увеличением расстояния от центра города. Показано, что высокие значения амплитуд магнитного шума центральной части города преимущественно связаны с импульсными сигналами, создаваемые электрическим транспортом (трамваи, троллейбусы, электропоезда метро), которые в сотни раз превышают уровень шума на окраине города и в тысячи раз геомагнитные вариации. При условии отсутствия мощных локальных источников техногенного происхождения наблюдается спад магнитного шума, который продолжается на расстоянии ~20–25 км от центра города.

Ключевые слова: магнитная индукция, техногенный магнитный шум, электромагнитное поле.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что наибольший вклад в общий электромагнитный шум индустриальных городов на низких частотах вносят основные потребители электрического тока промышленной частоты. По данным (Уткин и др., 2010) к таким источникам относят линии электропередач, потребители энергии промышленной частоты, все виды городского транспорта, работающие на электрической тяге и т.п. Кроме этого, имеются источники, создающие явление электромагнитной индукции и самоиндукции в металлических проводниках, а также эффекты при движении проводников во внешнем магнитном поле. При этом магнитная индукция, создаваемая такими источниками, по данным (Григорьев и др., 1997; Шевель, 2002), существенно зависит от режима их эксплуатации. Поскольку в местах повышенного электромагнитного шума затруднено применение таких геофизических методов поиска и разведки полезных ископаемых, как магнито-разведка, магнитотеллурическое зондирование и некоторые методы электроразведки, работающие на переменном токе, то изучение величины

и распределения электромагнитного шума низких частот техногенного происхождения является актуальной проблемой современных городов (Астраханцев, 1962; Беляев и др., 2003; Колесник и др., 2007). Автором проведены такие исследования в пределах Екатеринбурга и его окрестностей (рис. 1), где измерялись магнитные составляющие шумового электромагнитного поля в диапазоне частот 0.01–200 Гц.

Целью настоящей работы является изучение распределения городского техногенного магнитного шума, создаваемого совокупностью всех источников урбанизированной территории с увеличением расстояния для учета влияния этого шума на результаты геофизических измерений, проводимые в зоне интенсивных промышленных помех.

Под техногенным электромагнитным шумом в статье понимаются нерегулярные низкочастотные электромагнитные колебания.

ИСПОЛЬЗУЕМАЯ АППАРАТУРА

Для измерения амплитуды техногенного магнитного шума был применен трехкомпонентный

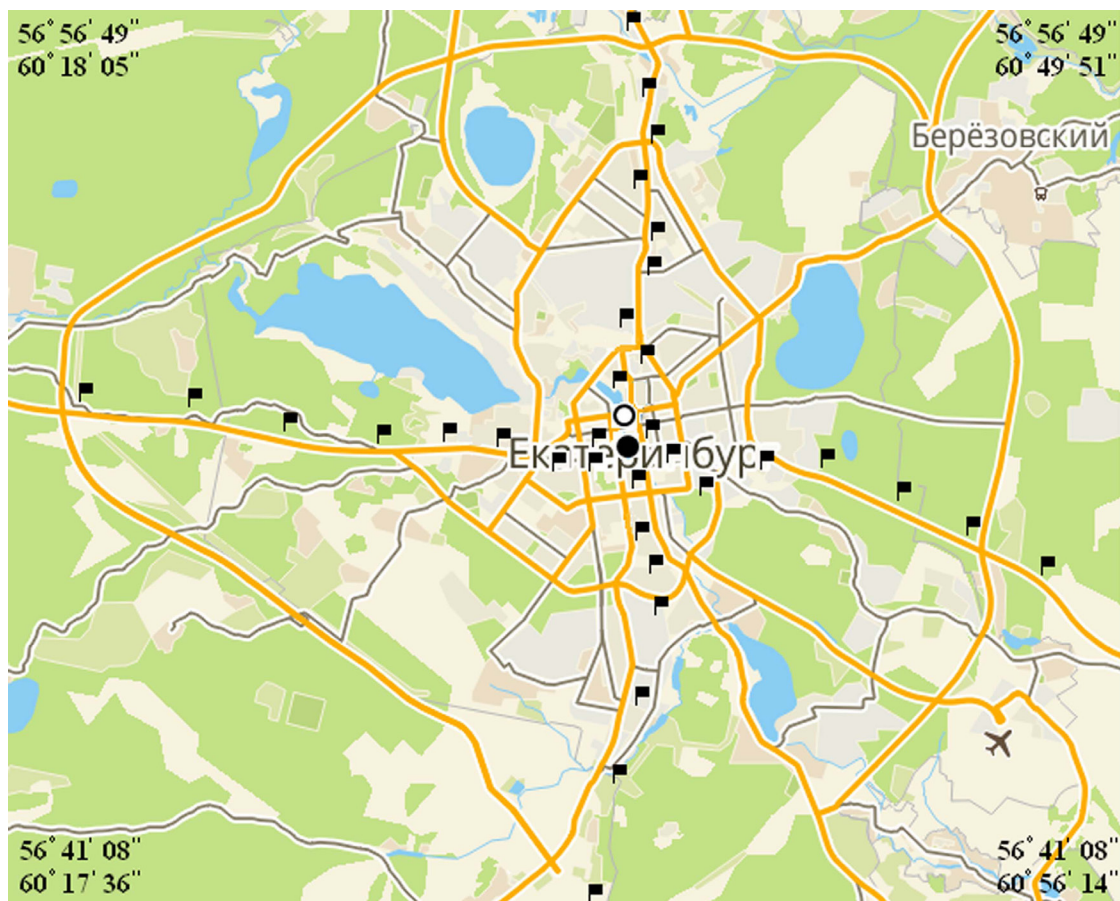


Рис. 1. Фрагмент карты Екатеринбурга с местоположением изученных объектов. Флажками показаны точки измерения. Черно-белым кружком обозначена начальная точка измерения для обоих профилей. Черным кружком обозначена точка измерения вблизи станции метро «Геологическая».

магнитометр, специально разработанный в Институте геофизики УрО РАН. В качестве датчика магнитного поля используется магнитомодуляционный преобразователь с автопараметрическим усилением измеряемого сигнала. Датчик выполнен на основе аморфных ферромагнитных сердечников с компенсированной продольной магнитострикцией, работающих на основной частоте возбуждения, и содержит три независимых взаимно-ортогональных канала измерения компонент магнитной индукции. Диапазон частот измеряемого сигнала $0.01 \div 200$ Гц. Порог чувствительности в указанном диапазоне частот — не более 0.1 пТл при коэффициенте преобразования 7.5 мВ/нТл. При таком коэффициенте преобразования максимальная амплитуда измеряемого магнитного поля ограничена на уровне ± 1300 нТл, но в магнитометре имеется возможность измерения более интенсивного магнитного поля с меньшим коэффициентом преобразования. Выходные сигналы датчика магнитной индукции подавались на многоканальный 24-х разрядный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) AD7734, выход которого соединен с переносным компьютером, управляющим работой АЦП и сохраняющим данные

измерений в цифровом виде в отдельном текстовом файле (Сокол-Кутыловский, Тягунов, 2007).

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ

При измерении амплитуды магнитного поля в городской среде и в окрестностях Екатеринбурга одна из горизонтальных компонент, B_x , была направлена по магнитному меридиану, составляющая магнитной индукции B_z устанавливалась по вертикали. Выравнивание составляющих B_x и B_y относительно горизонтальной плоскости осуществлялось с помощью уровня, встроенного в корпус датчика. Сам датчик располагался на немагнитном штативе вдали от явных локальных источников электромагнитного шума. Время регистрации шумового сигнала в каждой точке измерения составляло 30 минут. Измерения магнитной индукции проводились в рабочие дни, поскольку именно в это время город потребляет большое количество электроэнергии (работают производственные и перерабатывающие предприятия, муниципальные организации, загружен электротранспорт и т.д.). Для построения диаграмм распределения

техногенного магнитного шума с увеличением расстояния в Екатеринбурге и в его окрестностях было проведено 35 измерений, по 18 измерений в широтном и меридиональном направлении, при этом для каждого направления начальная точка отсчета была одна. Координаты точек измерения фиксировались с помощью GPS-приемника Garmin GPS 60. При построении диаграмм значения амплитуд магнитного шума в каждой точке измерения вычислялись от пика до пика. Для построения диаграмм графиков в диапазоне частот 0.01–45 Гц было использовано быстрое преобразование Фурье при помощи которого все частоты выше 45 Гц срезались.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вариации техногенного магнитного шума измерялись в Екатеринбурге и в его окрестностях, а также на расстоянии 8–10 км от границы города. Основной задачей этих исследований было выявление источников техногенного магнитного шума, и оценка влияния этого шума

в зависимости от расстояния от центральной части Екатеринбурга. При этом за основную точку отчета была взята точка измерения, расположенная в пределах центральной части города на пересечении улиц Ленина–8 марта (рис. 1), фрагмент записи которой представлен на (рис. 2).

В дневное время максимальная амплитуда вариаций горизонтальных составляющих магнитной индукции от пика до пика достигает величины $B_x = 1300$ нТл, $B_y = 1200$ нТл (рис. 2). Поскольку для наглядности окно магнитогаммы вертикальной составляющей сверху и снизу ограничено ± 1200 нТл (рис. 2), максимальная амплитуда для компоненты B_z составила 7900 нТл. Такое значительное превышение амплитуды вертикальной составляющей обусловлено, по нашему мнению, импульсными помехами от электропоездов метрополитена, линия которого находилась ~ 15 м от точки измерения. Если из представленного на рис. 2 фрагмента записи вычесть все частоты, что лежат выше 45 Гц, то амплитуда магнитного шума от пика до пика с учетом импульсов составит более

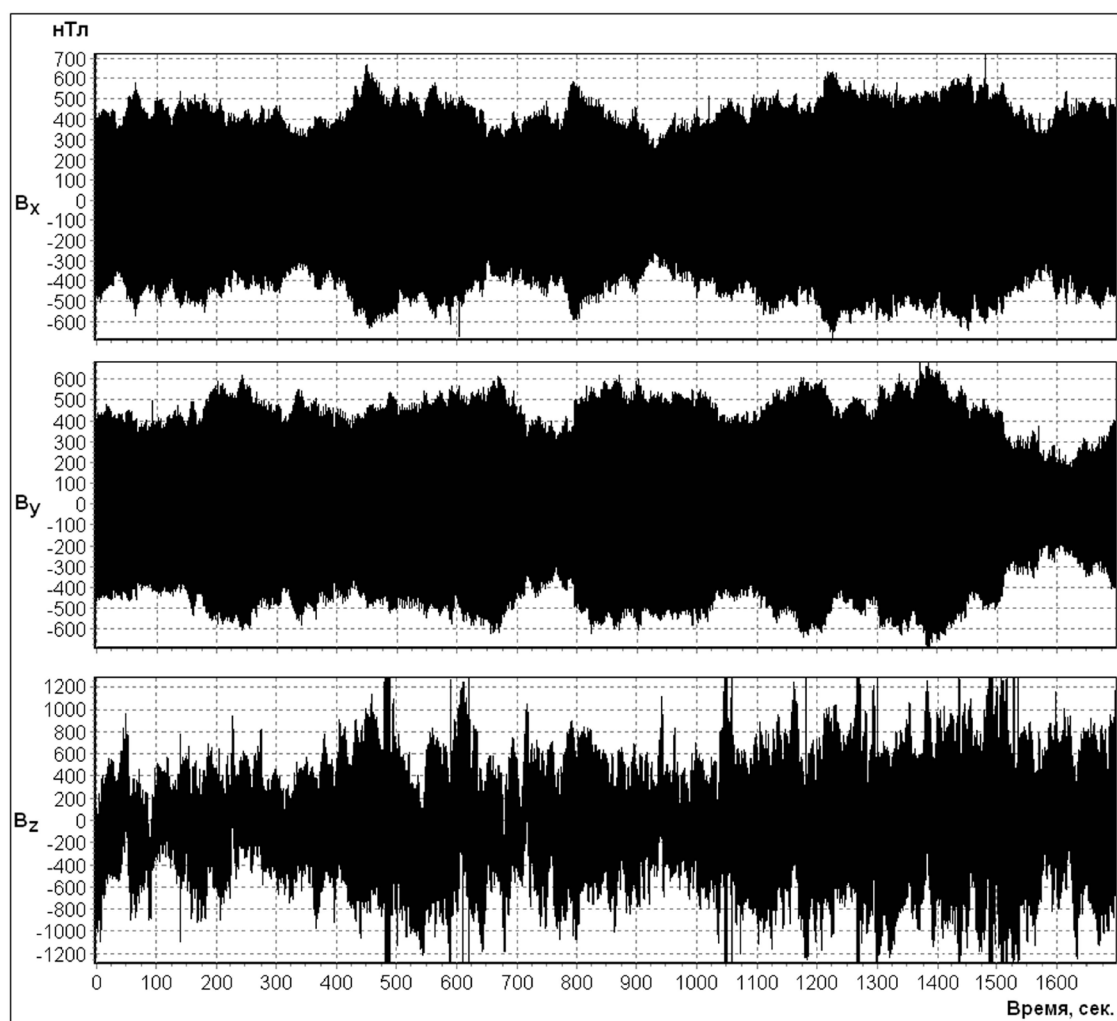


Рис. 2. Фрагмент дневной записи составляющих индукции магнитного поля, зарегистрированных в пределах центральной части Екатеринбурга в частотном диапазоне 0.01–200 Гц.

250 нТл по горизонтальным составляющим и более 1400 нТл по вертикальной составляющей (рис. 3). Такая разница значений амплитуд магнитного шума (рис. 2, 3) объясняется множеством техногенных источников сетевой частоты 50 Гц, которые имеются в расположенных рядом зданиях, надземных и подземных электрифицированных линиях. Это хорошо можно видеть на спектре сигнала (рис. 4а), где основная частота 50 Гц и ее гармоники представлены в виде уширенных линий, амплитуда которых составляет десятки нТл. При срезе всех частот выше 45 Гц остаются лишь незначительные частоты, амплитуда которых составляет доли нТл (рис. 4б). Кроме этого, при вычете из записи (рис. 2) частот выше 45 Гц на горизонтальных составляющих (рис. 3) проявились импульсные сигналы. Поскольку значения амплитуд этих импульсов существенно ниже общего магнитного шума в точке измерения, то по горизонтальным составляющим (рис. 2) они не проявились, так как оказались заполнены этим шумом.

С удалением расстояния от центральной части города уровень максимальных значений вариаций техногенного магнитного шума снижается до 17–20 нТл по горизонтальным составляющим и до 150 нТл по вертикальной составляющей.

Чтобы оценить влияние техногенного магнитного шума с увеличением расстояния, были проведены измерения в зависимости от расстояния от центра города. Оценка осуществ-

лялась на примере профилей, выполненных в субширотном (рис. 5, 6) и субмеридиональном направлениях (рис. 7, 8).

На представленных графиках (рис. 5, 6) показано, что спад амплитуды техногенного магнитного шума в широтном направлении от центральной части города происходит равномерно по горизонтальным составляющим магнитной индукции на протяжении всего исследуемого профиля. По вертикальной составляющей исключение вызывают точки измерения, расположенные в западном направлении профиля на расстоянии 4.5 км и 6 км (рис. 5), а также в восточном направлении на расстоянии 12 км (рис. 6). На расстоянии 4.5 км и 6 км отклонение амплитуды магнитного шума связано из-за промышленной зоны по переработке древесины и трамвайной электрифицированной линии, которые находились в 50–100 м от измеряемых точек. На расстоянии 12 км отклонение амплитуды возможно из-за мощной линии электропередач напряжением 500 кВ, расположенной в 200–250 м от точки измерения.

Результаты измерений по субмеридиональному профилю (рис. 7, 8) показывают неравномерный спад амплитуды техногенного магнитного шума по всем составляющим магнитной индукции на протяжении 8 км в северном и 6 км в южном направлении от начала профиля. Такое изменение компонент связано с неравномерным распределением источников техногенного магнитного шума (большое коли-

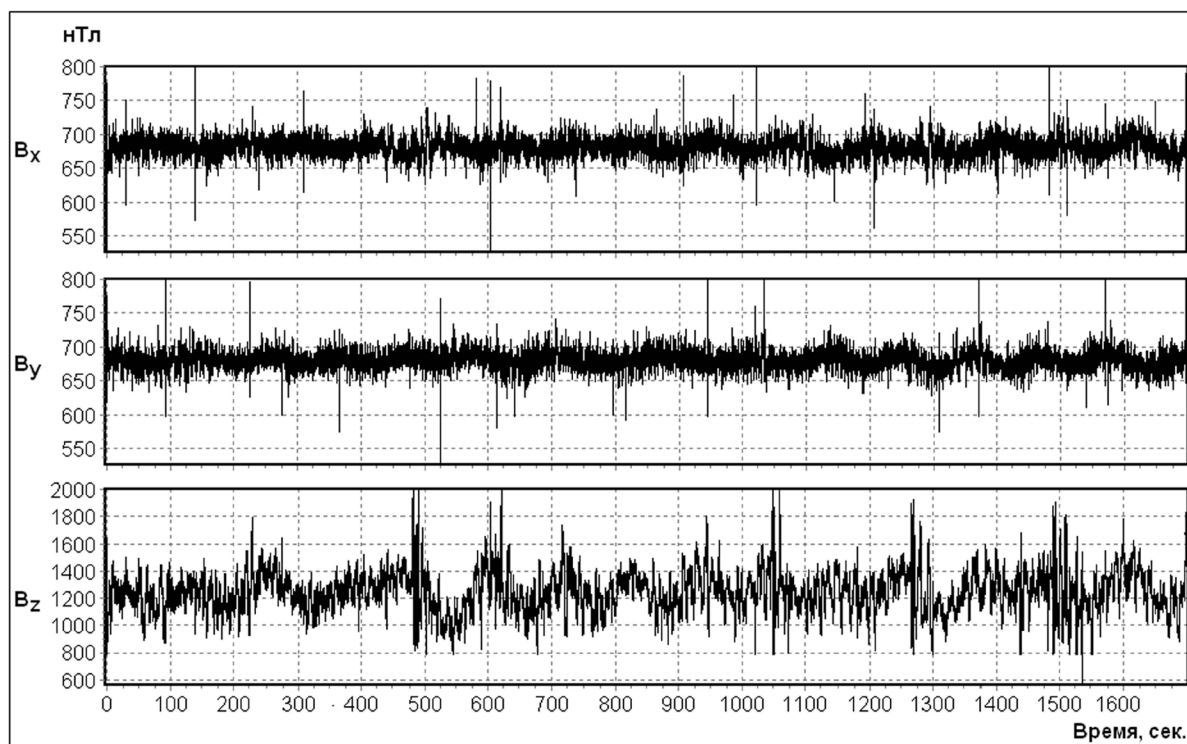


Рис. 3. Фрагмент дневной записи составляющих индукции магнитного поля, зарегистрированных в пределах центральной части Екатеринбурга в частотном диапазоне 0.01–45 Гц.

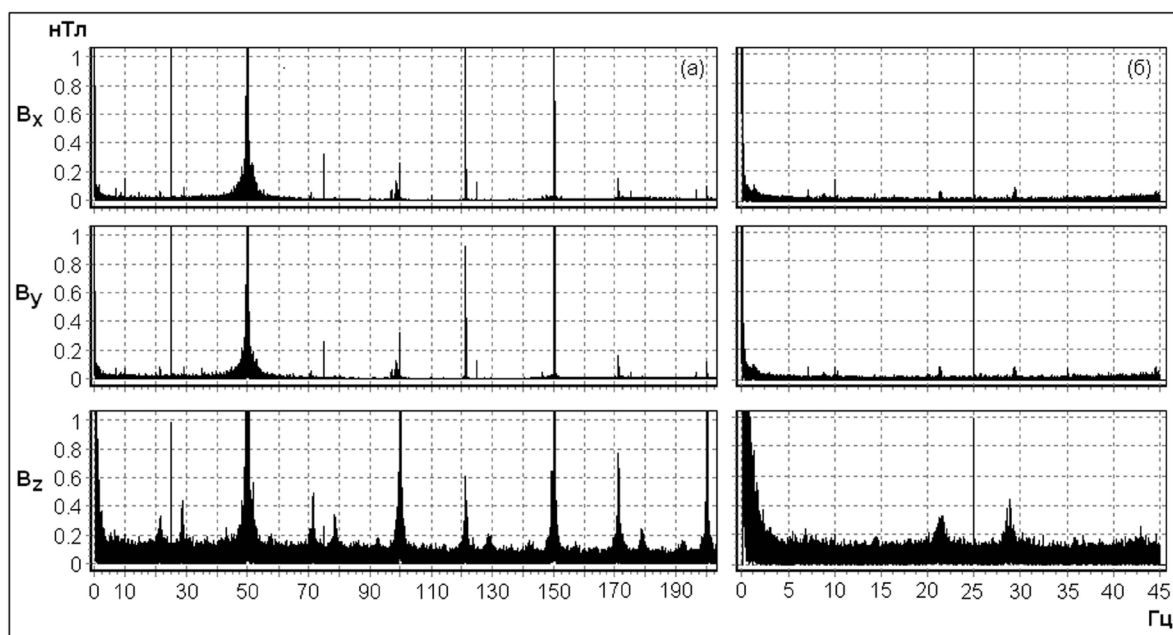


Рис. 4. Спектры дневной записи составляющих индукции магнитного поля, зарегистрированных в пределах центральной части Екатеринбурга в полосе частот 0.01–200 Гц слева и 0.01–45 Гц справа.

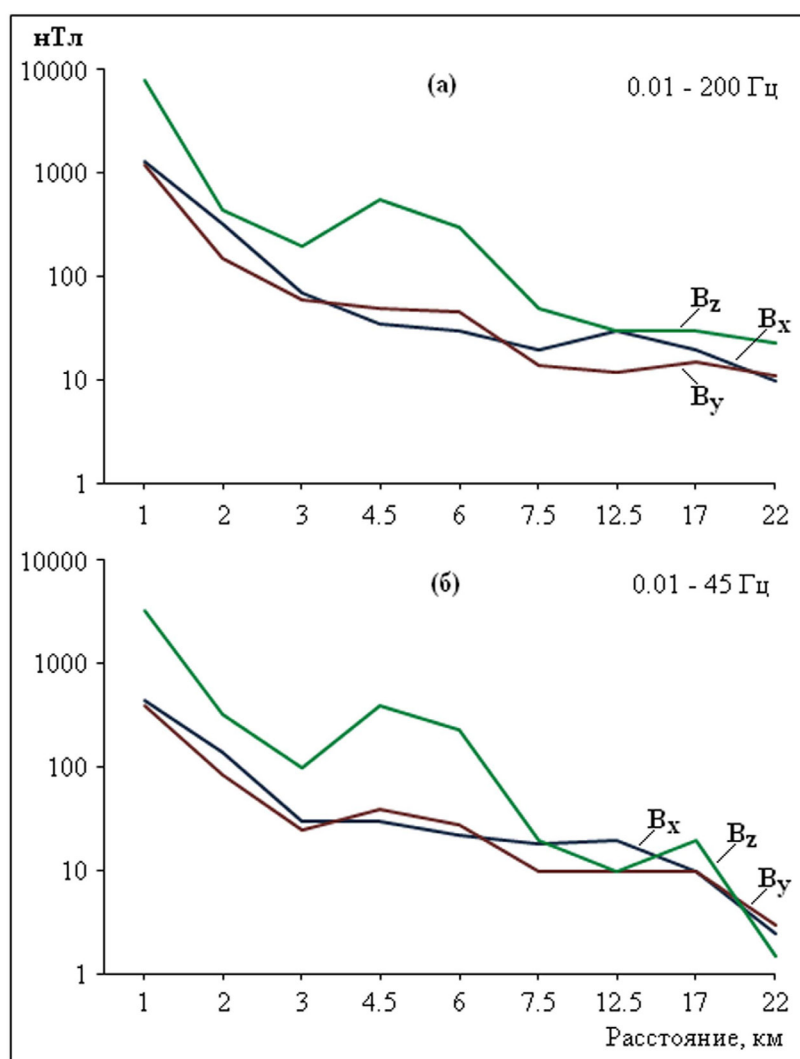


Рис. 5. Изменение амплитуды техногенного магнитного шума на расстоянии 22 км в западном направлении от центра Екатеринбурга.

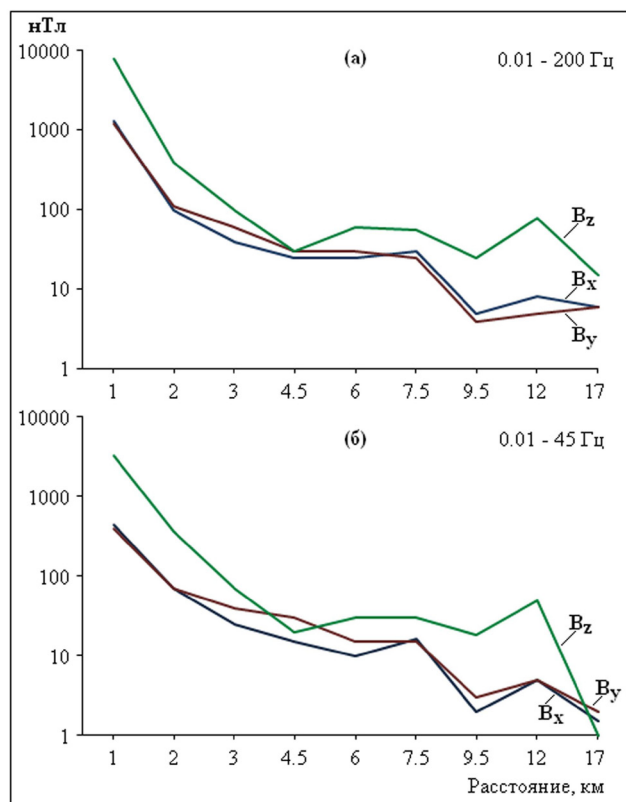


Рис. 6. Изменение амплитуды техногенного магнитного шума на расстоянии 17 км в восточном направлении от центра Екатеринбурга.

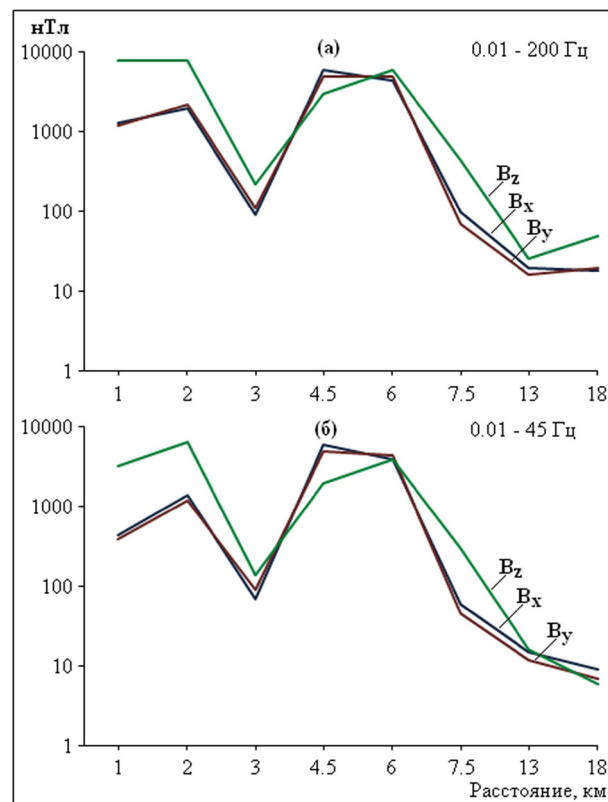


Рис. 8. Изменение амплитуды техногенного магнитного шума на расстоянии 18 км в южном направлении от центра Екатеринбурга.

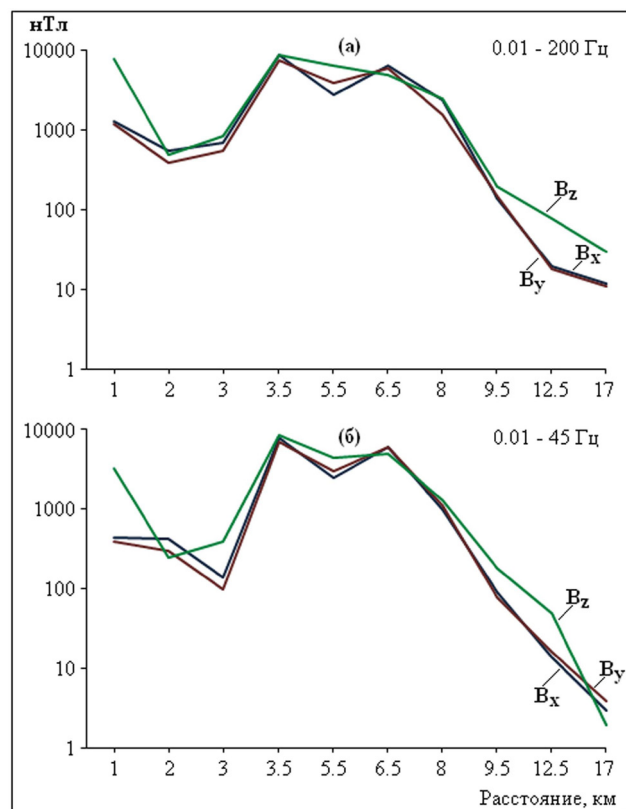


Рис. 7. Изменение амплитуды техногенного магнитного шума на расстоянии 17 км в северном направлении от центра Екатеринбурга.

чество автомобилей, высокая плотность жилого сектора, развитая городская инфраструктура и т.д.), а также параллельно расположенных на расстоянии ~15–20 м от точек измерения электрифицированных трамвайных, троллейбусных линий и линий метрополитена. Не смотря на то, что эти источники магнитного шума отличаются по амплитуде, частоте и фазе, от некоторых из них сигнал как помеха на магнитограмме проявляется в виде импульсов, магнитометр в точке измерения регистрирует их среднюю сумму. В связи с этим и такие высокие значения амплитуд как в частотном диапазоне 0.01–200 Гц так и в диапазоне 0.01–45 Гц (рис. 7, 8). Таким образом, представленные результаты по меридиональному профилю показывают, что при срезе частот выше 45 Гц в записи магнитного шума практически все импульсные сигналы остаются. Согласно данным (Тягунов, Сокол-Кутыловский, 2016) это обусловлено тем, что импульсные сигналы высокой амплитуды, создаваемые электротранспортом, на спектре в виде отдельных линий не проявляются, так как длительность и частота их появления носит случайный характер. Но эти импульсы хорошо видны на записи амплитуды магнитного шума (рис. 2, 3), поскольку попадают в полосу пропускания магнитометра и четко им фиксируются. Также надо заметить, что на представленных магнитограммах импульсные

сигналы отображаются в виде тонких линий высокой амплитуды. При детализации записи шумовой дорожки форма этих сигналов имеет более сложную структуру (рис. 9).

Проведенный анализ представленных профилей показывает, что в субширотном направлении спад техногенного магнитного шума происходит на расстоянии 2 км от центральной точки измерения и имеет равномерный характер. Значения амплитуд магнитного шума в среднем находятся в диапазоне 50–100 нТл. В субмеридиональном направлении спад магнитного шума происходит на расстоянии 8 км от центра города. Из-за присутствия в записях магнитограмм иррегулярных импульсов магнитного поля большой амплитуды, которые создаются преимущественно за счет близ лежащих путей передвижения электрического транспорта (метро, трамваи, троллейбусы) значения амплитуд магнитного шума в среднем находятся в диапазоне 500–10000 нТл. За пределами города уровень техногенного магнитного шума обоих профилей за исключением отдельных локальных источников в первом приближении убывает по экспоненциальному закону.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что городской техногенный магнитный шум неравномерно распределен на территории Екатеринбурга. В центральной части его величина в сотни раз превышает уровень шума на окраине.

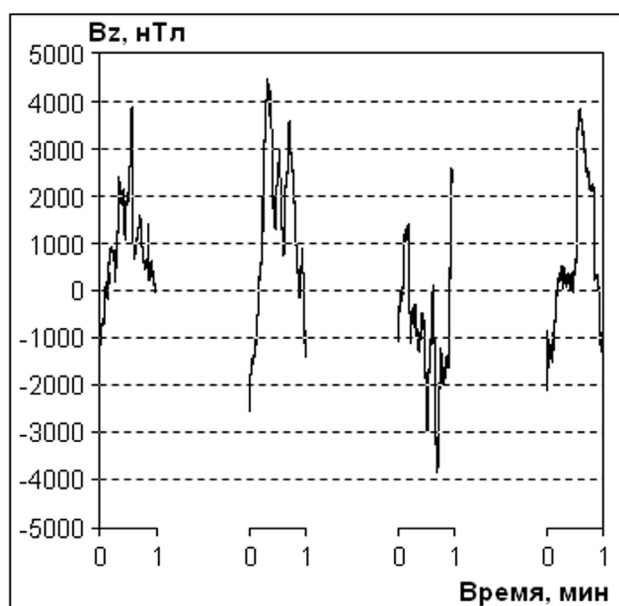


Рис. 9. Детализация минутных импульсных сигналов вертикальной составляющей фрагмента утренней записи зарегистрированной вблизи станции метро «Геологическая».

Максимальный уровень городского магнитного шума превышает геомагнитные вариации в диапазоне частот 0.01–200 Гц в 20000 раз, минимальный уровень — в 1000 раз. В диапазоне частот 0.01–45 Гц максимальный уровень техногенного шума превышает геомагнитный в 10000 раз, минимальный — в 100 раз.

Ближе к окраине города при условии отсутствия мощных локальных источников магнитного шума наблюдается его спад, продолжающийся на расстояния ~20–25 км от центра города.

Полученные результаты показывают, что при комплексных высокочувствительных электромагнитных измерениях урбанизированных территорий, проводимых в зоне интенсивных промышленных помех, необходимо учитывать влияние техногенного магнитного шума, амплитуда которого с каждым годом возрастает.

Список литературы

- Астраханцев Г.В.* О характере и распределении земных токов промышленной частоты на Среднем Урале // Геофизический сборник. Свердловск: ИГФ УФАН СССР, 1962. Вып. 2. С. 307–309.
- Беляев Г.Г., Чмырев В.М., Клейменова Н.Г., Козырева О.В.* Электромагнитный ультранизкочастотный фон мегаполиса (г. Москва) // Геомагнетизм и аэрономия. 2003. Т. 43. № 5. С. 697–701.
- Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А., Степанов В.С., Пальцев Ю.П.* Электромагнитное загрязнение окружающей среды и здоровье населения России. М.: Изд-во Рос. ассоциации обществ. Здоровья, 1997. С. 10–76.
- Колесник А.Г., Колесник С.А., Бородин А.С. и др.* Электромагнитный фон городских территорий диапазона промышленных частот // Вестник Томского государственного ун-та. 2007. № 297. С. 161–164.
- Сокол-Кутыловский О.Л., Тягунов Д.С.* Аппаратура для регистрации магнитного поля низких частот // Уральский геофизический вестник. 2007. № 4 (13). С. 69–73.
- Тягунов Д.С., Сокол-Кутыловский О.Л.* Спектральное распределение городского магнитного шума в диапазоне низких частот // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 3. Вып. № 31. С. 58–64.
- Уткин В.И., Тягунов Д.С., Сокол-Кутыловский О.Л., Сенина Т.Е.* Загрязнение окружающей среды в связи с воздействием электромагнитного поля на частотах 0.05–20 Гц // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2010. № 4. С. 328–335.
- Шевель Д.М.* Электромагнитная безопасность. Киев: ВЕК+; НТИ, 2002. 432 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРОДСКОГО ТЕХНОГЕННОГО МАГНИТНОГО ШУМА
**THE DISTRIBUTION OF URBAN ANTHROPOGENIC MAGNETIC NOISE
DEPENDING ON THE DISTANCE: CASE STUDY FOR YEKATERINBURG**

D.S. Tyagunov

Institute of Geophysics Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, 620016

The author used Yekaterinburg as an example to consider the spatial distribution of urban anthropogenic magnetic noise within the frequency range between 0.01–200 Hz and 0.01–45 Hz with increasing distance from the city's centre. The paper shows that high amplitudes of the magnetic noise of the city's central part are mainly related to pulse signals generated by electric transport (trams, trolleybuses, trains, metro), which hundreds of times exceed the noise level on the city outskirts and thousands of times exceed the geomagnetic variations. Lack of powerful local anthropogenic sources causes decrees in magnetic noise that continues over a distance of ~20–25 km far from the city's centre.

Keywords: magnetic induction, anthropogenic magnetic noise, electromagnetic field.